



TITLE:

限外ろ過膜を用いた下水再生処理 プロセスにおけるウイルス除去に 関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

李, 善太

CITATION:

李, 善太. 限外ろ過膜を用いた下水再生処理プロセスにおけるウイルス除去に関する研究. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18975>

RIGHT:

許諾条件により本文は2016/03/01に公開

京都大学	博士（工 学）	氏名	李 善太
論文題目	限外ろ過膜を用いた下水再生処理プロセスにおけるウイルス除去に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本研究は、衛生学的に安全な下水再生処理プロセスを構築するため、限外ろ過（UF）膜処理を用いて、高いウイルス除去率を達成できる効率的な下水再生処理プロセスを研究したものであって、8章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の位置づけ、研究目的と本論文の構成について述べている。</p> <p>第2章は、本研究の背景を詳細に示すとともに、先行研究と比較することで本研究の新規性と有用性を示している。特に下水再生水を畑地での農業用水に安全に利用するためには、凝集沈殿＋砂ろ過＋消毒から構成されるカリフォルニア州の再生水基準である Title22 が世界的に利用されており、添加したポリオウイルスや大腸菌ファージ MS2 で 5.2-log の除去率を確保することが必要であることを述べている。</p> <p>第3章は、ヒト病原ウイルスであるノロウイルス GI 型 (GI-NoV) と GII 型 (GII-NoV)、ロタウイルス (RoV)、アイチウイルス (AiV) と植物由来のモデルウイルスであるペッパーマイルドモットルウイルス (PMMoV) を対象に沖縄県の下水処理場の二次処理水で存在実態を定量ポリメラーゼ連鎖反応 (qPCR) 法で調査している。その結果、全てのサンプルからこれらのウイルスが検出され、GI-NoV、GII-NoV および AiV は、日本の下水処理場の放流水の既往知見よりも高濃度で検出された。また、PMMoV は、二次処理水中において他のヒト病原ウイルスである GI-NoV、GII-NoV、RoV、AiV と比べて高濃度で存在し、季節性がないことを明らかにしている。一方、凝集、UF 膜ろ過からなる下水再生処理プロセスのウイルス除去率の評価をモデルウイルスである大腸菌ファージ MS2 および Qβ を添加する実験を行い、培養法で測定した結果、凝集剤による不活化の効果が低い MS2 の方が適していることを明らかにした。</p> <p>第4章は、下水処理場の二次処理水でのウイルス凝集効果について大腸菌ファージ MS2 を用いて培養法により評価している。UF 膜ろ過の前段である凝集処理でのウイルスの凝集効果が凝集、UF 膜ろ過からなる下水再生処理プロセス全体のウイルス除去率を大きく左右することが示され、ウイルスの凝集効果は二次処理水の水質により大きく異なることが明らかとなった。凝集条件の検討結果、凝集剤添加量を増加することでウイルスの凝集フロックへの移行および不活化効果により、凝集、UF 膜ろ過による下水再生処理プロセスでのウイルスの除去率を高めることが可能であると確認された。一方、溶存有機物質指標である DOC 濃度と E260 が高くなることにより、凝集による除去効果が低下したことから、溶存有機物がウイルスの凝集フロックへの移行を阻害している可能性が示唆された。また、凝集処理に用いる二次処理水の性状によりウイルスへの凝集効果が高い pH の範囲が異なり、弱酸性の条件で最も凝集効果が高くなることが明らかになった。また、ウイルス凝集効果が最大となる pH 条件を把握することにより、凝集剤添加量を増加しなくてもウイルスの除去率を向上させることが可能であることが明らかとなった。</p> <p>第5章は、下水処理場の二次処理水を対象として、凝集沈殿＋UF 膜ろ過と UF 膜ろ過＋紫外線</p>			

京都大学	博士（工 学）	氏名	李 善太
<p>(UV) 処理からなる下水再生処理プロセスをパイロットスケールで設置し、凝集剤量、pH 条件、UV 照射量を変化させた場合のウイルス除去率を、添加した MS2 を培養法で測定し、評価した。その結果、二次処理水を処理原水として用いた場合、低 pH 条件下での凝集沈殿+UF 膜ろ過と UF 膜ろ過+UV 処理プロセスは 5.2-log を超える高いウイルス除去率が得られ、安定な連続運転が可能であった。構築した下水再生処理プロセスにおけるウイルス除去率の安定性と消費エネルギーを評価した結果、凝集沈殿+砂ろ過+UV 処理といった従来技術に比べて、低 pH 条件下での凝集沈殿+UF 膜ろ過および UF 膜ろ過+UV 処理の下水再生処理プロセスは、同程度のウイルスの除去率を得るために必要な消費エネルギーの削減効果が大きく、特に後者は消費エネルギーが最も小さく、ウイルス除去の信頼性も高いことを明らかにした。また、下水処理場の最初沈殿池越流水を対象として、凝集+UF 膜ろ過プロセスをパイロットスケールで実験し、ウイルスの除去率を MS2 の培養法により評価した。この結果、安定的な連続運転ができる凝集条件（PAC100mg/L）とろ過速度（0.5m/日）の条件を見出すとともに、その際のウイルス除去率が 2-log を超えることを明らかにした。従って、この処理プロセスは、最初沈殿池越流水を直接 UF 膜ろ過することにより、生物処理や最終沈殿処理と同程度のウイルス除去が可能であり、下水処理場での震災時の応急対策としての利用可能性があると考えられた。</p> <p>第 6 章は、低 pH 条件下での凝集沈殿+UF 膜ろ過および UF 膜ろ過+UV 処理からなる下水再生処理プロセスを用いた生産水でのヒト病原ウイルス（GI-NoV、GII-NoV、RoV、AiV）を qPCR 法により測定した。この結果、2 つの下水再生処理プロセスの生産水中には、ヒト病原ウイルスが処理原水中に高濃度で検出された時期も含め、全て検出下限未満となることを明らかにした。しかし、モデルウイルスである PMMoV は生産水からも検出される場合があった。この原因として、処理原水の PMMoV の存在濃度が他のヒト病原ウイルスと比べて高濃度であったことが考えられた。低 pH 条件下での凝集沈殿+UF 膜ろ過および UF 膜ろ過+UV 処理の下水再生処理プロセスの除去率は、qPCR で測定するヒト病原ウイルスおよび PMMoV の場合、添加した MS2 を培養法で測定した場合よりも低くなるが、この理由として生産水で検出下限値未満である場合が多いことのほか、凝集過程や UV 処理での不活化効果が考慮できないことが示唆された。</p> <p>第 7 章は、低 pH 条件下での凝集沈殿+UF 膜ろ過および UF 膜ろ過+UV 処理からなる下水再生処理プロセスの除去率について MS2 を添加し、qPCR 法と培養法で測定した場合を比較している。凝集沈殿や UF 膜処理での MS2 とヒト病原ウイルスの除去率は、qPCR 法では大きな差はなかったが、MS2 の除去率を培養法と qPCR 法で比較すると凝集および UV 過程では大きな相違が生じた。このことは、6 章でのヒト病原ウイルスと培養法による MS2 添加による凝集過程や UV 処理でのウイルス除去率の相違が、凝集および UV 処理におけるウイルスの不活化が原因であり、qPCR 法では評価が不十分であることを裏付けている。これらのことから低 pH 条件下での凝集沈殿+UF 膜ろ過および UF 膜ろ過+UV 処理からなる下水再生処理プロセスのウイルス除去率については、培養法による MS2 の添加による評価がおおむね妥当であるとしている。</p> <p>第 8 章は、本研究の結論である。</p>			

氏 名	李 善太
-----	------

(論文審査の結果の要旨)

下水再利用が世界的に注目されているが、その由来が下水であることから病原微生物の問題、特にウイルスの存在が懸念される。そのため、再生水利用においてウイルスによる人の健康へのリスクを適切に低減できる下水再生処理プロセスを構築する必要がある。本研究は、衛生学的に安全な下水再生処理プロセスを構築するため、限外ろ過(UF)膜処理を用いて、高いウイルス除去率を達成できる効率的な下水再生処理プロセスを研究したものである。本研究で得られた結果を以下に記す。

1. 下水処理場の二次処理水でのウイルス凝集効果について大腸菌ファージ MS2 を用いて培養法により評価した。この結果、下水処理場によって凝集効果は大きく異なり、溶存有機物の性状(DOC濃度、E260など)とpH条件が寄与していることを明らかにした。
2. 下水処理場の二次処理水を対象として、凝集沈殿+UF膜ろ過とUF膜ろ過+紫外線(UV)処理プロセスを設置し、凝集剤量、pH条件、UV照射量を変化させた場合のウイルス除去率をMS2の培養法により評価した。この結果、凝集沈殿+砂ろ過+UV処理といった従来技術に比べて、低pH条件下での凝集沈殿+UF膜ろ過、UF膜ろ過+UV処理プロセスは、同程度のウイルスの除去率を得るために必要な消費エネルギーの削減効果が大きく、特に後者は消費エネルギーが最も小さく、ウイルス除去の信頼性も高いことを明らかにした。
3. 下水処理場の最初沈殿池越流水を対象として、凝集+UF膜ろ過プロセスを設置して、ウイルスの除去率をMS2の培養法により評価した。この結果、安定的な連続運転ができる凝集条件とろ過速度の条件を見出すとともに、その際のウイルス除去率を明らかにした。
4. 下水再生処理プロセスを用いた生産水でのヒト病原ウイルスを定量ポリメラーゼ連鎖反応(qPCR)法により測定した。この結果、再生水中において常に検出下限未満となることを明らかにした。
5. 凝集沈殿やUF膜処理でのMS2、ヒト病原ウイルスの除去率は、qPCR法では大きな差はなかったが、MS2の除去率を培養法とqPCR法で比較すると凝集およびUV処理では相違が生じることを明らかにした。このようなウイルス除去率の相違は、凝集およびUV処理におけるウイルスの不活化が原因していることが示唆された。

以上、本論文は、UF膜を用いた下水再生処理プロセスにおける効率的なウイルス除去法を開発するとともに、その除去機構の解明を行ったものであり、下水の再生水利用に大きく貢献しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年2月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。